# Versuche

über den

# zeitlichen Verlauf der Willensbewegung.

---

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung

der

**Doctorwürde in der Medicin und Chirurgie**

unter dem Præsidium

von

**Dr. Carl v. Vierordt,**
o. ö. Professor der Physiologie

vorgelegt von

**Wilhelm Camerer**
aus Stuttgart.

---

Tübingen, 1866.
Druck von Heinrich Laupp.

Seinem Vetter und Collegen

**Wilhelm Camerer**

in Freundschaft

gewidmet

vom Verfasser.

Ich ergreife die mir hier gebotene Gelegenheit, meinen verehrten Lehrern für die mir während meiner Studienzeit bewiesene Freundlichkeit meinen aufrichtigen Dank zu sagen; insbesondere fühle ich mich verpflichtet, denselben Herrn Prof. Dr. v. Vierordt für die Förderung, welche er vorliegender im hiesigen physiologischen Institut ausgeführten Arbeit angedeihen liess, auszusprechen. Auch dem Herrn Prof. Dr. Neumann habe ich für die Unterstützung, welche derselbe der mathematischen Seite der Arbeit zugewandt hat, meinen ergebensten Dank abzustatten.

Tübingen im April 1866.

W. Camerer.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550015_0051

# Einleitung.

Die zahlreichen Versuche der Neuzeit über Reizung der motorischen Nerven und Muskeln haben den wichtigsten und nächstliegenden Reiz, den Willensreiz, unberücksichtigt gelassen. In den neuesten monographischen Arbeiten, zum Beispiel in der von Wundt (die Lehre von der Muskelbewegung. Braunschweig 1858), von Valentin (die Zuckungsgesetze des lebenden Nerven und Muskels. Leipzig 1863), sowie in dessen verdienstlichen physiologischen Pathologie der Nerven (Leipzig 1864) sind die Eigenschaften der willkührlichen Bewegungen des Nähern nicht erörtert, und selbst die ausführlichste und lichtvollste Darstellung dieser Bewegungen, welche wir besitzen, die von Johannes Müller (im zweiten Band seiner Physiologie) fusst ausnahmslos auf dem, was sich dem fraglichen Gegenstand durch blosse Beobachtung abgewinnen lässt. Der vorliegende kleine experimentelle Beitrag, obschon er sich vorzugsweise auf die Besprechung solcher Bewegungen beschränkt, deren Verlauf dem Willen gemäss gleichmässig; zunehmend beschleunigt oder zunehmend

verlangsamt ausfallen sollte, wird desshalb, wie ich hoffe, hinlänglich gerechtfertigt sein.

Unser Wille beherrscht — innerhalb gewisser Grenzen —

1) Die Richtung der Bewegung. Hierin haben wir eine grosse Freiheit, indem wir eine vorgenommene Richtung — etwa eine bestimmte Armbewegung — unverändert beibehalten, oder dieselbe in jedem Augenblick willkührlich verändern können. Diess wird dadurch ermöglicht, dass wir die jeweilige Stellung unsrer ruhenden, oder in einer bestimmten Lage willkührlich gehaltenen Glieder u. s. w. kennen; desshalb kommen auch die successiven Lagen, welche dieselben während einer willkührlichen Bewegung annehmen, zu unserm Bewusstsein. Versuche, speciell angestellt über letztere Frage, fehlen noch, doch lässt sich aus den Leistungen des Tastsinns entnehmen, dass die zugleich in Anspruch genommenen Muskelgefühle sehr fein entwickelt sind. Eine theilweise Antwort auf unsere Frage geben die bekannten Versuche E. H. Webers über den Ortssinn der allgemeinen Bedeckungen, indem es sich bei der zweiten von diesem Forscher benützten Messungsmethode bekanntlich darum handelt, die Lage der von einem Andern so eben berührten Hautstelle anzugeben, das heisst, eine willkührliche Bewegung genau nach dieser Richtung zu vollführen. Auch die Versuche, welche Stud. Zernial über einen Specialfall der Leistungen des Muskelsinns im hiesigen physiologischen Institut anstellte und im Archiv für Heilkunde 1864. S. 546 veröffentlichte, beziehen sich zum Theil auf unsere Frage. Ferner existiren einige Angaben über

den Einfluss der Uebung zur Vollführung von Bewegungen in bestimmten Richtungen und über die merkwürdige Thatsache (E. H. Weber, Fechner), dass die Uebung bestimmter Muskeln auch die entsprechenden Muskeln der andern Seite mitübt, eine Thatsache, die Volkmann auch für den Raumsinn der Haut bestätigt hat.

2) Auch die Geschwindigkeit der Bewegungen unterliegt unserem Willen; wir sind befähigt, eine Geschwindigkeit constant beizubehalten, oder die Geschwindigkeit in den Einzelphasen einer Bewegung zu verändern. Messende Versuche hierüber fehlen; die vorliegende Arbeit soll wenigstens einen Theil dieser Lücke ausfüllen.

3) Während der Ausführung einer Bewegung können wir (konstante oder variabele) Widerstände überwinden; das heisst eine bestimmte Arbeitsgrösse vollführen. Die damit verbundenen Muskelgefühle dienen zur Wahrnehmung und Unterscheidung von Druckgrössen; Leistungen, die bekanntlich von E. H. Weber und Fechner näher untersucht worden sind.

## Versuchsmethode.

Um bei den Versuchen eine geläufige Bewegung anzuwenden, wurde eine Armbewegung gewählt, bestehend in abwechselnden, in horizontaler Richtung ausgeführten Flexionen und Extensionen im Ellbogengelenk. Mittelst eines Schreibapparats wurden diese Bewegungen auf der Kymographiontrommel, die sich um eine horizontale Axe drehte, graphisch verzeichnet.

Als Schreibapparat diente die Vorrichtung, welche Professor Vierordt angewandt hat, um mit der Hand die Pendelbewegungen des Hämatotachometers auf das Kymographion zu übertragen. Vide Tafel 1 in dessen „Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Bluts“ (Frankfurt 1858). Mittel- und Zeigefinger der rechten Hand wurden auf die horizontalen Messingstangen v und g jenes Apparats leicht aufgelegt; der Vorderarm war in Mittellage zwischen Flexion und Extension, die Hand war vollständig pronirt, so dass der Handrücken gerade nach aufwärts sah. Durch abwechselnde Flexion und Extension wurde die leicht verschiebbare Messingstange nach links und rechts bewegt. Diese Bewegungen zeichnete eine am freien Ende der Stange befindliche Stahlspitze auf das mit Russ überzogene Kymographionpapier auf. Wenn man die Contractionsphasen eines Froschmuskels auf das schnell rotirende Kymographion aufschreiben lässt, kann die Reibung unter Umständen wesentliche Störungen im Gang der zu verzeichnenden Curve machen, dasselbe ist der Fall, wenn man tönende Schwingungen aufschreiben lässt; bei meinen Versuchen ist die bewegende Kraft so gross, dass die störende Einwirkung der Reibung für gewöhnlich vollständig verschwindet. Wirkte ausnahmsweise die Reibung störend ein — z. B. wenn die Spitze des schreibenden Stahlstiftes sich nicht genau parallel mit der Kymographiontrommel bewegte, so war das Hinderniss jedesmal so gross, dass es leicht bemerkt und die betreffenden Curven gestrichen wurden.

Um den Gang meiner Bewegungen gegen das freiwillige Ende hin zu beobachten, hütete ich mich, Fle-

xionen oder Extensionen von solcher Ausdehnung zu machen, dass der nur innerhalb bestimmter Grenzen bewegbare Schreibapparat denselben ein gewaltsames Ziel gesetzt hätte. Die durchschnittliche Grösse meiner Bewegungen war 60—70 mm., gleichgross konnten dieselben in den Einzelversuchen aus der eben angegebenen Ursache nicht werden. Die Geschwindigkeit meiner Bewegungen, welche ich absichtlich in den Einzelversuchen mit verschiedener Schnelligkeit ausführte, schwankt, drei sehr schnelle ausgenommen, zwischen 5 und 60 mm. in einer Sekunde.

Diese Bewegungen wurden nach dem oben Gesagten in der Art curvenartig verzeichnet, dass die Abscissen den Zeitwerthen, die Ordinaten den Bewegungsgrössen entsprachen. Die so erhaltenen Curven wurden folgendermaassen gemessen: Jede Einzelabscisse wurde in 10 gleiche Theile getheilt und die jedem Zehntheil zugehörige Ordinate gemessen.

Das von mir benützte Keinath'sche Kymographion hat eine Trommelperipherie von 520 mm. und braucht bei grösst möglicher Schnelligkeit zu einer Umdrehung 40 Sekunden. Die grösst möglichste Abscissenlänge für die Bewegungsdauer von einer Sekunde beträgt daher 13 mm. Diese langsame Drehung der Trommel sichert zwar die Gleichmässigkeit ihrer Bewegung, welche bei den Keinath'schen Kymographien nichts zu wünschen übrig lässt, machte aber auch die nähere Untersuchung der Verhältnisse beim Anfang und Aufhören meiner Bewegungen unmöglich. Bedeutende Länge der Abscisse auch bei sehr kurzer Dauer meiner Bewegungen, also schnelle Drehungen der Trommel, waren

hiezu nothwendig. Es ist bekanntlich ein ungelöstes Problem der Technik, bei sehr schneller Drehung die Winkelgeschwindigkeit gleichmässig zu erhalten; auch die theuren Kymographien mit sehr grosser Drehungsgeschwindigkeit leisten nicht, was sie sollen. Ich benützte eine Trommel, welche durch blosse Handbewegung gedreht wird, und in der Werkstätte des bekannten Akustikers König in Paris gefertigt wurde. Zur Bestimmung der Geschwindigkeit dieser Drehungen genügte es nicht, von einem rechtwinklig gegen die Trommel schwingenden Pendel je eine Sekunde markiren zu lassen; bei irgend rascher Drehung waren die Abstände zwischen den einzelnen aufgezeichneten Punkten so gross, dass innerhalb derselben eine vollständige Gleichmässigkeit der Drehung nicht angenommen werden durfte. Es waren also kleine Bewegungen von gleicher Zeitdauer aufzuschreiben. Als solche wurden an einem Versuchstag die Schwingungen einer Stimmgabel benützt; allein nur sehr selten wurden dieselben eine längere Zeitfolge hindurch so deutlich aufgeschrieben, dass sie gut gezählt werden konnten. Bei der grossen Anzahl verzeichneter Einzelversuche fanden sich allerdings einige, welche mit deutlich aufgeschriebenen Stimmgabelschwingungen zusammenfielen. Daher liess ich an einem andern Versuchstag die Schwingungen des Hämmerchens eines electro-magnetischen Induktionsapparats graphisch verzeichnen. Es war zunächst nothwendig, diese Schwingungen auf die Gleichheit ihrer Zeitdauer zu prüfen, und es ergab sich bei viertelstündiger Beobachtung, dass in einer Sekunde die Zahl der Schwingungen zwischen $10\frac{1}{2}$ und 11 schwankte, sowie dass

immer eine längere Zeitfolge hindurch die Zahl der Schwingungen des Hämmerchens ganz unverändert blieb. Die Breite der vom Hämmerchen deutlich ablesbar aufgeschriebenen Wellen konnte als weitere Controlle für die Geschwindigkeit der Trommeldrehungen benützt werden.

Die Versuchsmethode war im Uebrigen vollkommen so, wie oben beschrieben ist.

Behufs der Ausmessung der Einzelphasen dieser, sehr schnellen, Bewegungen wurden die erhaltenen Curven durchgezeichnet und die Copie in zwei Stücke zerschnitten. Diese wurden aufgeklebt auf einem 110 mm. langen, 36 mm. breiten, durch eine Schraube beweglichen Objecttisch; dicht über dem Papier wurde ein Glas in der Art befestigt, dass ein in dasselbe eingeritzter Strich senkrecht auf die Abscisse zu stehen kam. Auf diesen Strich wurde ein langgetheiltes Okularmikrometer eines Mikroskops so gelegt, dass die Mikrometerstriche parallel mit der Abscisse waren. Die Curve wurde nun allmählig um je 1 mm. unter dem Glasstrich vorbeibewegt und durch die Loupe die zugehörigen Ordinatenwerthe abgelesen. Da die Abscissenlängen der Curven zwischen 70 und 148 mm. schwankten, so hatte ich bei den Einzelversuchen 70—148 Ordinatenwerthe. Bei der Umständlichkeit dieser Arbeit glaubte ich mich auf die Ausmessung dreier Einzelversuche beschränken zu dürfen und das um so mehr, als diese sehr schnellen Bewegungen Curven lieferten, die für den blossen Anblick keine wesentlichen Differenzen unter sich boten.

Ausser diesen sehr schnellen Bewegungen mass ich,

auf die oben angegebene Weise, den zeitlichen Verlauf von 256 Extensionen und 227 Flexionen; Bewegungen, deren Dauer zwischen 0,8" und 20" variirt. Ich bringe dieselben je nach der Dauer in 22 verschiedene Categorien, welche zugleich (vide Tabelle 2 und 3) ein allmähliges Fortschreiten zu immer langsameren Bewegungen zeigen. Der Dauer der Bewegung konnte jedoch die Geschwindigkeit derselben nicht genau entsprechen, da die während der Bewegung durchlaufenen Räume desshalb nicht gleich werden konnten, weil es in den Versuchsbedingungen lag, dass die Bewegungen vom Willen, nicht aber von einer mechanischen Hemmung arretirt werden mussten.

## Versuchstabellen über die gleichmässigen Bewegungen.

Tabelle I gibt die Ausmessung des zeitlichen Verlaufs an einer Extension und an zwei Flexionen. Die Zahlen (Ordinatenwerthe) bedeuten die in Millimetern ausgedrückten Räume, welche am Ende des fraglichen Zeitraums von Anfang der Bewegung an zurückgelegt waren. Die in den 3 Versuchen durchmessenen Räume betragen also 61,0, 56,6, 61,4 Millimeter. Man entschuldige, dass ich die Bewegung nicht in allen 3 Versuchen in gleiche — je etwa 100 — Zeittheile getheilt habe, die Abscissenlänge der Einzelcurven war zu ungleich. Die Extension ist in 105, die beiden Flexionen in 79 und 66 gleiche Zeittheile getheilt. Die absolute Dauer der Bewegungen ist im Tabellenkopf angegeben.

Tabelle II und III bedarf keiner nähern Erklärung. Die in den senkrechten Rubriken I, II, III u. s. w. befindlichen Werthe drücken die Räume aus, welche vom Anfang der Bewegung an nach Ablauf des ersten, zweiten, dritten u. s. w. Zeitzehntels durchmessen waren; jedoch ist der bessern Vergleichbarkeit wegen der während der Gesammtbewegung durchlaufene Raum = 100 gesetzt. Die Millimeterwerthe der wirklich durchlaufenen Räume sind in Rubrik B angegeben. Zur Vergleichung ist auch der zeitliche Verlauf der in Tabelle I dargestellten Bewegungen in Tabelle II und III eingetragen.

Tabelle I.

| Zeittheile | Extension Dauer 0,689″ | Flexion Dauer 0,34″ | Flexion Dauer 0,56″ |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| 2 | 0,7 | 0,4 | 0,4 |
| 3 | 0,8 | 0,5 | 0,6 |
| 4 | 1,0 | 0,7 | 0,8 |
| 5 | 1,2 | 0,9 | 1,2 |
| 6 | 1,3 | 1,3 | 1,7 |
| 7 | 1,6 | 1,5 | 2,5 |
| 8 | 1,8 | 1,8 | 3,2 |
| 9 | 2,0 | 2,1 | 4,4 |
| 10 | 2,4 | 2,3 | 5,4 |
| 11 | 2,8 | 2,7 | 6,2 |
| 12 | 3,0 | 3,0 | 7,2 |
| 13 | 3,5 | 3,5 | 8,6 |
| 14 | 3,8 | 4,0 | 10,2 |
| 15 | 4,1 | 4,6 | 11,8 |
| 16 | 4,6 | 5,1 | 13,4 |

| Zeit-theile | Extension Dauer 0,689″ | Flexion Dauer 0,34″ | | Flexion Dauer 0,56″ |
|---|---|---|---|---|
| 17 | 5,3 | 5,9 | | 14,8 |
| 18 | 5,7 | 6,4 | | 17,2 |
| 19 | 6,4 | 6,9 | | 19,1 |
| 20 | 6,8 | 7,6 | | 20,9 |
| 21 | 7,4 | 8,3 | | 24,5 |
| 22 | 7,9 | 9,1 | | 26,9 |
| 23 | 8,4 | 10,1 | | 29,4 |
| 24 | 8,9 | 11,0 | | 30,3 |
| 25 | 9,6 | 12,1 | | 32,5 |
| 26 | 10,1 | 13,2 | | 34,5 |
| 27 | 10,7 | 14,2 | | 36,4 |
| 28 | 11,4 | 15,4 | | 38,0 |
| 29 | 11,9 | 16,9 | | 39,5 |
| 30 | 12,6 | 17,9 | | 40,7 |
| 31 | 13,0 | 18,9 | | 42,0 |
| 32 | 13,8 | 20,1 | | 43,4 |
| 33 | 14,4 | 21,6 | | 44,8 |
| 34 | 15,0 | 22,9 | | 46,0 |
| 35 | 15,8 | 24,1 | | 47,1 |
| 36 | 16,5 | 25,6 | | 48,2 |
| 37 | 17,4 | 27,1 | | 49,0 |
| 38 | 18,0 | 28,9 | | 50,0 |
| 39 | 18,7 | 30,5 | | 51,0 |
| 40 | 19,6 | 31,6 | Verlust von 2mm Abscisse | 51,8 |
| 41 | 20,6 | 31,6 | | 52,6 |
| 42 | 21,0 | 33,3 | | 53,5 |
| 43 | 21,7 | 34,5 | | 54,1 |
| 44 | 22,5 | 35,6 | | 54,6 |
| 45 | 23,5 | 36,9 | | 55,4 |
| 46 | 24,2 | 38,4 | | 56,0 |
| 47 | 25,0 | 39,3 | | 56,7 |

| Zeit-theile | Extension Dauer 0,689″ | Flexion Dauer 0,34″ | Flexion Dauer 0,56″ |
|---|---|---|---|
| 48 | 25,7 | 40,7 | 57,4 |
| 49 | 26,5 | 42,1 | 57,9 |
| 50 | 27,4 | 42,5 | 58,4 |
| 51 | 28,2 | 43,6 | 58,8 |
| 52 | 29,1 | 44,7 | 59,1 |
| 53 | 30,0 | 45,3 | 59,5 |
| 54 | 30,8 | 46,4 | 59,7 |
| 55 | 31,4 | 47,1 | 60,0 |
| 56 | 32,2 | 47,7 | 60,2 |
| 57 | 32,9 | 48,3 | 60,4 |
| 58 | 33,6 | 49,2 | 60,7 |
| 59 | 34,3 | 50,0 | 60,8 |
| 60 | 35,2 | 50,5 | 60,9 |
| 61 | 36,2 | 50,9 | 61,0 |
| 62 | 37,0 | 51,7 | 61,0 |
| 63 | 38,0 | 52,1 | 61,1 |
| 64 | 38,7 | 52,6 | 61,1 |
| 65 | 39,6 | 53,0 | 61,2 |
| 66 | 40,3 | 53,8 | 61,4 |
| 67 | 41,0 | 54,0 | |
| 68 | 41,7 | 54,6 | |
| 69 | 42,6 | 54,8 | |
| 70 | 43,3 | 55,1 | |
| 71 | 44,4 | 55,3 | |
| 72 | 45,3 | 55,4 | |
| 73 | 46,3 | 55,6 | |
| 74 | 47,2 | 55,8 | |
| 75 | 48,0 | 56,1 | |
| 76 | 48,7 | 56,2 | |
| 77 | 49,4 | 56,4 | |
| 78 | 50,2 | 56,5 | |

| Zeit-theile | Extension Dauer 0,689″ | Flexion Dauer 0,34″ |
|---|---|---|
| 79 | 51,1 | 56,6 |
| 80 | 52,0 | |
| 81 | 53,0 | |
| 82 | 53,6 | |
| 83 | 54,2 | |
| 84 | 54,7 | |
| 85 | 55,3 | |
| 86 | 55,8 | |
| 87 | 56,1 | |
| 88 | 56,5 | |
| 89 | 57,1 | |
| 90 | 57,5 | |
| 91 | 57,9 | |
| 92 | 58,2 | |
| 93 | 58,5 | |
| 94 | 58,9 | |
| 95 | 59,1 | |
| 96 | 59,2 | |
| 97 | 59,4 | |
| 98 | 59,7 | |
| 99 | 60,0 | |
| 100 | 60,2 | |
| 101 | 60,4 | |
| 102 | 60,6 | |
| 103 | 60,8 | |
| 104 | 60,9 | |
| 105 | 61,0 | |

# Tabelle II.

| A Dauer der Bewegung in Sekunden | B Grösse der Bewegung in Millimetern | C Sekunden-Geschwindigkeit der Bewegung in Millimet. | Extensionen. I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,689 | 61,0 | 88,5 | 4,2 | 12,1 | 22,0 | 34,4 | 48,3 | 62,3 | 76,2 | 89,7 | 97.7 | 100 | 1 |
| 0,8—1,2 | 63,4 | 61,0 | 5,5 | 14,2 | 24,3 | 36,4 | 49,8 | 62,8 | 73,6 | 83,6 | 91,2 | 100 | 5 |
| 1,2—1,6 | 54,6 | 40,1 | 3,5 | 10,4 | 21,6 | 35.3 | 49,3 | 62,7 | 74,0 | 84,7 | 93,3 | 100 | 51 |
| 1,6—2,0 | 54,6 | 32.3 | 4,4 | 13,4 | 24,4 | 36,6 | 50 | 61,9 | 72,6 | 83,2 | 92,7 | 100 | 22 |
| 2,0—2,4 | 55,9 | 25,3 | 5,9 | 17,2 | 28,5 | 40.2 | 51,2 | 59,9 | 72,3 | 82,1 | 91.9 | 100 | 13 |
| 2,4—2,8 | 57,1 | 22,6 | 4,9 | 13,3 | 24.1 | 35,9 | 46.6 | 58,8 | 70,1 | 80,2 | 90,5 | 100 | 12 |
| 2,8—3,2 | 60,0 | 20,3 | 6,2 | 16,2 | 27,0 | 37,9 | 48,2 | 59,2 | 70,0 | 79,7 | 90,0 | 100 | 26 |
| 3,2—3,6 | 63,2 | 18.6 | 6,0 | 15,2 | 25,2 | 34,8 | 46.2 | 57,3 | 68,0 | 78,6 | 89,6 | 100 | 15 |
| 3,6—4,0 | 72.6 | 19,3 | 5,4 | 13.9 | 24.9 | 34.8 | 45,7 | 57,7 | 69,4 | 80,4 | 90,2 | 100 | 8 |
| 4,0—4.5 | 67,8 | 15,9 | 4,9 | 14.0 | 21,7 | 34,2 | 44,5 | 56.8 | 69,0 | 80,7 | 90,9 | 100 | 6 |
| 4,5—5,0 | 73,4 | 15.9 | 6,9 | 16,3 | 27,1 | 37.3 | 48,9 | 58,8 | 70.3 | 81,6 | 91,4 | 100 | 5 |
| 5,0—5,5 | 72,8 | 14,4 | 6,9 | 17,8 | 28,0 | 37,9 | 48,8 | 59,1 | 69.9 | 81,3 | 90,9 | 100 | 4 |
| 5,5—6,0 | 74,6 | 13,1 | 6,6 | 16,2 | 27,5 | 33,1 | 45.6 | 55,9 | 65,0 | 78,5 | 89,9 | 100 | 4 |
| 6,0—6,5 | 70,2 | 11,3 | 7,1 | 17,4 | 26,7 | 37,5 | 47,2 | 56,7 | 68,1 | 79,1 | 89,9 | 100 | 14 |
| 6,5—7,0 | 67,3 | 10,0 | 7,6 | 17,5 | 27,2 | 36,4 | 47,1 | 56,8 | 69,7 | 78,2 | 89,6 | 100 | 5 |
| 7,0—7,5 | 72,0 | 9.9 | 5.5 | 14.6 | 24,0 | 35,1 | 45,7 | 55,6 | 66,2 | 78,1 | 90,9 | 100 | 3 |
| 7.5—8,0 | 68.1 | 8,8 | 7,0 | 16,6 | 26,4 | 35,7 | 46,0 | 56,2 | 67,7 | 78,4 | 90,0 | 100 | 10 |
| 8,0—8,5 | 71,1 | 8,6 | 7,2 | 17,0 | 25,7 | 34.7 | 44,9 | 55,1 | 61,7 | 77,2 | 89,3 | 100 | 7 |
| *8,5—9.0 | 68,0 | 7,9 | 7,3 | 17,6 | 27,6 | 37,2 | 47,1 | 55,9 | 67,6 | 78,1 | 88,7 | 100 | 8 |
| 9—10 | 65,4 | 7,0 | 7,6 | 16,7 | 25,4 | 34,9 | 43 | 52,4 | 64,4 | 76,7 | 87,8 | 100 | 8 |
| 10—11 | 68,0 | 6,5 | 8,4 | 17,5 | 26,2 | 35,2 | 44,0 | 53,7 | 63,7 | 75.0 | 85,0 | 100 | 10 |
| 11—13 | 70,7 | 5,9 | 7,8 | 16,7 | 26,6 | 34,4 | 43,7 | 54,3 | 64,8 | 76,1 | 88,5 | 100 | 10 |
| 13—20 | 72,9 | 4.8 | 7,9 | 17,3 | 25,4 | 35 | 45,4 | 55,7 | 65,0 | 76,4 | 87,4 | 100 | 10 |

# Tabelle III.

| A Dauer der Bewegung in Sekunden | B Grösse der Bewegung in Millimetern | C Sekunden-Geschwindigkeit der Bewegung in Millimet. | Flexionen. I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,34 | 56,6 | 166,5 | 3,2 | 9,0 | 19,4 | 35,5 | 55,8 | 71,9 | 84.3 | 92,9 | 97,9 | 100 | 1 |
| 0,56 | 61,4 | 109,6 | 3,4 | 14,0 | 32,6 | 56,2 | 71,8 | 84,7 | 90,7 | 96,2 | 99,0 | 100 | 1 |
| 0,8—1,2 | 54,6 | 60,0 | 4,0 | 12,2 | 23,8 | 37,0 | 51,7 | 66,4 | 80,2 | 89,0 | 95,6 | 100 | 25 |
| 1,2—1,6 | 56,7 | 43,6 | 5,2 | 15,7 | 27,5 | 40,0 | 53,1 | 66.3 | 77,9 | 86,9 | 94,4 | 100 | 22 |
| 1,6—2,0 | 58.6 | 33,3 | 3,9 | 12,1 | 22,5 | 34,8 | 47,4 | 61,4 | 73,4 | 85,3 | 93,5 | 100 | 16 |
| 2,0—2,4 | 50,3 | 23,8 | 8,2 | 18,9 | 31,4 | 43,9 | 55,5 | 66,2 | 77,3 | 85,7 | 93,8 | 100 | 16 |
| 2,4—2,8 | 63,4 | 23,4 | 7,6 | 19,7 | 31,6 | 43,1 | 54,6 | 65,9 | 76,3 | 86,4 | 94,2 | 100 | 16 |
| 2,8—3,2 | 61,7 | 21,0 | 7,9 | 18,1 | 29,5 | 40,3 | 51,2 | 61,7 | 71,4 | 82,0 | 92,7 | 100 | 20 |
| 3,2—3,6 | 69,9 | 20,9 | 7,2 | 17,9 | 29,6 | 39,6 | 49,6 | 58,2 | 69,2 | 81,7 | 92,9 | 100 | 5 |
| 3,6—4,0 | 69,9 | 19,2 | 5,0 | 15,2 | 28,3 | 40,2 | 51,9 | 62,0 | 71,4 | 82,3 | 92,4 | 100 | 9 |
| 4,0—4,5 | 68,2 | 15,9 | 8,9 | 20,1 | 33,3 | 46,5 | 58,9 | 67,3 | 77.3 | 86,8 | 93,1 | 100 | 4 |
| 4,5—5,0 | 72,4 | 15,4 | 8,0 | 21,0 | 32,0 | 43,4 | 54,8 | 64,2 | 73,8 | 82,9 | 92,8 | 100 | 4 |
| 5,0—5,5 | 69,2 | 13,0 | 11,1 | 22,3 | 32,8 | 43,7 | 54.9 | 63,9 | 76,2 | 84,7 | 93,1 | 100 | 6 |
| 5,5—6,0 | 70,2 | 12,3 | 9,0 | 20,2 | 30,6 | 39,0 | 50,4 | 61,1 | 71,5 | 81,6 | 90,9 | 100 | 7 |
| 6,0—6,5 | 67,5 | 10,8 | 10,0 | 21,1 | 32,0 | 42,5 | 54,0 | 64,1 | 74,9 | 83,1 | 92,0 | 100 | 5 |
| 6,5—7,0 | 69,0 | 10,2 | 6,8 | 13,9 | 24,4 | 36.0 | 47,0 | 58,6 | 67,8 | 79,0 | 90,3 | 100 | 4 |
| 7,0—7,5 | 70,0 | 9,8 | 9,1 | 19,9 | 31,3 | 42,7 | 53,1 | 62,6 | 72,7 | 82,4 | 91,7 | 100 | 7 |
| 7,5—8,0 | 68,2 | 8,9 | 10,6 | 21,7 | 31,3 | 41,5 | 48,7 | 62,3 | 72,2 | 82,7 | 91,9 | 100 | 7 |
| 8,0—8.5 | 69,1 | 8,2 | 10,3 | 18,3 | 30,3 | 42,1 | 52,2 | 62,4 | 72,5 | 83,2 | 92,3 | 100 | 6 |
| 8,5—9,0 | 66,9 | 7,4 | 11,5 | 22,3 | 33,8 | 44,4 | 55,1 | 66,7 | 76,6 | 85,1 | 94,0 | 100 | 8 |
| 9—10 | 68,3 | 7,2 | 8,4 | 18,7 | 29,9 | 40,6 | 52,1 | 60,9 | 72,4 | 82,9 | 92,4 | 100 | 8 |
| 10—11 | 68,7 | 6,6 | 10,6 | 22,2 | 33,2 | 42,3 | 52,5 | 62.5 | 72,2 | 82,3 | 92,3 | 100 | 13 |
| 11—13 | 68,3 | 5,6 | 11,7 | 22.3 | 33,8 | 42,1 | 53.2 | 63.8 | 72,7 | 82,5 | 92,3 | 100 | 12 |
| 13—20 | 70,4 | 4,7 | 10,1 | 21,5 | 29,9 | 38,6 | 45,6 | 58,6 | 67,9 | 75,6 | 88,3 | 100 | 7 |

# Versuchstabellen über beschleunigte und über verzögerte Bewegungen.

In einer weitern Versuchsreihe war ich bemüht, die Bewegungen so auszuführen, dass sie in ihrem Verlauf beschleunigt oder verzögert wurden. Im ersten Fall war also eine allmählige Geschwindigkeitszunahme beabsichtigt, die so lange dauern sollte, bis der Willensbefehl arretirend eingriff, im zweiten Fall musste zunächst eine gewisse Geschwindigkeit hergestellt und diese sodann in den folgenden Zeitphasen successiv vermindert werden. Die nachfolgenden Tabellen bedürfen, nach dem für Tab. II und III Bemerkten, keiner weiteren Erläuterung.

## Tabelle IV.

| | Dauer der Bewegung in Sekunden | Grösse der Bewegung in Millimetern | Beschleunigte Bewegung: I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Extension | 2—2,4 | 71,8 | 2,4 | 5,8 | 10,7 | 19,0 | 29,7 | 21,8 | 54,3 | 69,1 | 87,2 | 100 | 6 |
| | 2,4—2,8 | 73 | 1,8 | 4 | 9,3 | 16,3 | 25,5 | 36,4 | 49,3 | 66,7 | 87.8 | 100 | 18 |
| | 2,8—3,2 | 73,8 | 2.5 | 5,7 | 10,7 | 17,5 | 26.2 | 38,5 | 51,8 | 71,5 | 89.3 | 100 | 9 |
| | 3,2—4 | 74,7 | 2,6 | 6,3 | 12,6 | 19,9 | 30,2 | 43,8 | 60,1 | 76 | 89,5 | 100 | 9 |
| | 4—5 | 76,9 | 3 | 8,3 | 13,9 | 21.6 | 31,7 | 42,8 | 57,3 | 73.1 | 87,2 | 100 | 8 |
| | 5—7,4 | 76,4 | 5,1 | 11,1 | 18,8 | 28,0 | 38,2 | 47,9 | 61 | 72,5 | 88.9 | 100. | 4 |
| Flexion | 2—2,4 | 76,1 | 2,9 | 6,6 | 12,2 | 19.7 | 26,4 | 36,3 | 49,2 | 66,6 | 85,4 | 100 | 13 |
| | 2,4—3,2 | 72,7 | 1,5 | 5 | 10,6 | 18,2 | 27,7 | 40,7 | 55,5 | 74,5 | 92,4 | 100 | 20 |
| | 3,2—4 | 75,5 | 2,1 | 6,3 | 11.8 | 19.7 | 26,8 | 39 | 53,9 | 71,2 | 88,1 | 100 | 8 |
| | 4—5 | 77,4 | 3,2 | 10,2 | 16,6 | 22,4 | 35,3 | 49 | 61,9 | 75,8 | 90 | 100 | 4 |
| | 5—7,4 | 75 | 1,1 | 8,4 | 13,9 | 20 | 28 | 38,7 | 50,6 | 65,6 | 87,3 | 100 | 5 |

Tabelle V.

| | Dauer der Bewegung in Sekunden | Grösse der Bewegung in Millimetern | Verzögerte Bewegung. I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Extension | 2,4—3,2 | 70.7 | 26,6 | 55.7 | 66.5 | 73,1 | 78.8 | 83,3 | 88,3 | 92,5 | 96,5 | 100 | 6 |
| | 3,2—4 | 70,4 | 15.8 | 49.4 | 61,6 | 68,7 | 74,7 | 81,5 | 86,8 | 91,6 | 96,2 | 100 | 11 |
| | 4—5 | 70.6 | 31,7 | 52.3 | 61,3 | 67,1 | 73,7 | 78,7 | 84 | 89,5 | 95,7 | 100 | 16 |
| | 5—6 | 72,1 | 32,2 | 48,8 | 57,7 | 65,7 | 73,2 | 79 | 84,2 | 89,7 | 95,3 | 100 | 7 |
| Flexion | 2,4—3.2 | 69,2 | 25,7 | 59.5 | 69,2 | 77,6 | 82,8 | 87,? | 90.9 | 94,1 | 96.8 | 100 | 6 |
| | 3,2—4 | 66.5 | 38.6 | 57.3 | 67,1 | 72,9 | 78,3 | 83,8 | 88,3 | 92,3 | 96,7 | 100 | 8 |
| | 4—5 | 73,4 | 32.4 | 55,6 | 64,3 | 71.3 | 77,2 | 81,7 | 86,1 | 91 | 95,4 | 100 | 9 |
| | 6—15,3 | 70,4 | 34,1 | 47,4 | 56,4 | 64,5 | 70,9 | 76,6 | 82,4 | 88,3 | 94,6 | 100 | 9 |

## Ueber den Zusammenhang zwischen der gewollten und der vollführten Bewegung.

Die auf das Experiment basirten Normen der allgemeinen Muskelphysiologie bieten von vornherein wenig Anhaltspunkte bei der experimentellen Untersuchung der Frage, deren Untersuchung ich mir vorgenommen hatte; ebenso wenig Anhaltspunkte bietet ferner das, was die blose Beobachtung über die Willkührbewegungen bisher lehrte. Je weniger Anhaltspunkte vorhanden sind, desto beschränkter sind aber auch die anfänglichen Fragestellungen und erst im Verlauf der Arbeit, also oft zu spät, werfen sich Fragen auf, deren Nichtberücksichtigung am Anfang der Studien man schwer zu bereuen hat. Vor Allem thut es mir leid, dass ich dem Zusammenhang zwischen der gewollten und der wirklich effektuirten Bewegung keine Aufmerksamkeit geschenkt habe und ich empfehle diesen Punkt, als einen der wichtigsten, meinem nächsten Nachfolger um so angelegentlicher. Die von mir graphisch verzeichneten konstant beabsichtigten Willensbewegungen variiren hin-

sichtlich ihrer Dauer innerhalb der sehr weiten Grenzen von 0,3″—20″, während die durchmessenen Räume annähernd gleich waren. Meine Einzelversuche zeigen die verschiedensten Geschwindigkeitsgrade, zwischen 166$^{mm}$ und 4,7$^{mm}$ Sekundengeschwindigkeit, und doch hatte ich mir nur ganz im Allgemeinen beim Beginn jeder Bewegung vorgenommen, die Bewegungen mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit auszuführen, dagegen auf die Constanz der einmal angenommenen Geschwindigkeit das Hauptmoment gelegt. Die zahlreichen Variationen der Geschwindigkeit erzielte ich namentlich auch dadurch, dass ich mir häufig vornahm, die Bewegungen schneller, langsamer, viel langsamer als deren Vorgänger auszuführen. Meine Curven lagen mir also zur Ausmessung vor, ohne dass ich mir über die jedesmal beabsichtigte Geschwindigkeit Aufzeichnungen gemacht hatte.

Es erhebt sich nun die interessante Frage, ob wir von Geschwindigkeiten überhaupt mehr als ganz allgemeine, ich möchte sagen qualitative, Vorstellungen haben; oder ob es möglich ist, für unsere verschiedenen Bewegungsvorstellungen — Vorstellungen also quantitativen Inhalts — Grössenmasse zu finden. Ich stehe nicht an, diese Frage entschieden zu bejahen.

Man würde sehr irren, wenn man etwa annehmen wollte, wir hätten bei der Ausführung unsrer Willensbewegungen gradatim ungefähr so viele Geschwindigkeitsvorstellungen, als unserm Vermögen, Geschwindigkeitsunterschiede im concreten Fall noch wahrzunehmen, entsprechen würde. Um deutlicher zu reden: wenn ich mir vornehme, mit dem Arm einen bestimmten Raum zunächst mit grösster Geschwindigkeit und dann in allen

weitern nachfolgenden Bewegungen mit immer geringerer Geschwindigkeit zurückzulegen, so zwar, dass in jedem Einzelfall nicht blos das deutliche Bewusstsein der Verlangsamung gegenüber dem vorhergehenden Fall vorhanden ist, sondern auch die gemachte Bewegung wirklich langsamer ausfällt, als ihre unmittelbare Vorgängerin, so erhalte ich, um innerhalb der in vorliegender Arbeit vorkommenden Geschwindigkeitsgrenze zu bleiben, zwischen 166$^{mm}$ und 4,7$^{mm}$ Sekundengeschwindigkeit eine ohne Zweifel nicht unbedeutende Zahl verschiedener Geschwindigkeitsgrade. Ganz anders aber muss es sich verhalten, wenn mir das bequeme und anschauliche Mittel der Vergleichung abgeht, wenn ich eine bestimmte Geschwindigkeitsvorstellung in eine concrete Geschwindigkeit umsetzen soll. Dann bleiben mir zwischen jenen Extremen von 166$^{mm}$ bis 4,7$^{mm}$ Sekundengeschwindigkeit nur sehr wenige verschiedene Geschwindigkeitskategorien, die ich allenfalls mit: ausserordentlich schnell — sehr schnell — schnell u. s. w. bis ausserordentlich langsam bezeichnen kann. Die intendirte Geschwindigkeit „ausserordentlich schnell“ wird in der Regel in die allerschnellsten Bewegungen ausschlagen; aber nichts kann hindern, dass nicht auch einige „sehr schnell“ gewollte Bewegungen „ausserordentlich schnell“ werden und dass andrerseits einzelne „ausserordentlich schnell“ gewollte Bewegungen nur „sehr schnell“ ausfallen u. s. w. Eine gehörig grosse Zahl von Einzelbeobachtungen wird aber zu bestimmten Durchschnittsgrössen für die verschiedenen vorgestellten Bewegungsgeschwindigkeiten, das heisst zu förmlichen Massen dieser letztern führen.

Im Besitz solcher Erfahrungen kann man dann

ohne Zweifel die einzelnen graphisch aufgezeichneten Bewegungen besser interpretiren, als das mir möglich ist.

## Das Gesetz der willkührlich-beschleunigten Bewegung.

Ich stelle die beschleunigte Bewegung voran, weil sie unerwarteter Weise als die regelmässigste sich erwiesen hat. Die Extensionsbewegungen nehmen von einem Zeitzehntel zum andern immer mehr an Geschwindigkeit zu, erreichen ein Maximum (in der Regel im 9ten Zeitraum) und sinken dann auf Null. Die Arretirung durch den Willensbefehl geschieht also schnell. Bei den langsameren Bewegungen (die 5—7,4 Sec. im Ganzen dauerten) findet im 6ten Zeitmoment eine Ausnahme statt, wo die Geschwindigkeit geringer ist als im 5ten und dem nachfolgenden 7ten Moment; dasselbe ereignet sich im 8ten Moment. Diese Abweichung kann nicht auffallen, da bei solchen langsameren Bewegungen die Muskelgefühle nicht allein maassgebend sind, sondern auch unsere Vorstellungen Zeit genug haben, störende Einflüsse in die Bewegung hereinzutragen. Desshalb kann es auch nicht auffallen, dass bei solchen langsameren Bewegungen das Maximum der Geschwindigkeit früher sich einstellen kann, als bei den schnellen. Zudem ist die Zahl meiner Versuche nicht gross genug, um den Gang der Erscheinung mit Bestimmtheit feststellen zu können. Die Flexionsbewegungen zeigen im Allgemeinen dieselbe Norm, doch sind sie etwas unregelmässiger als die Extensionen.

Fasse ich die schnellen Extensionsbewegungen (der

Categorien 2 bis incl. 3,2 Secunden der Tabelle IV.) zusammen, so sind die durchlaufenen Wege (der ganze Weg = 1000 gesetzt) im Endmittel nach Ablauf der einzelnen Zeitzehntel der Reihe nach 22,3 — 52 — 102 — 176 — 271 — 389 — 518 — 691 — 881 — 1000.

Sehen wir vorerst ab vom ersten Zeitmoment, wo der Wille beginnt seinen Einfluss zu entfalten, und vom letzten, wo die Arretirung des Willens eingreift, so tritt uns schon auf den ersten Blick die merkwürdige Erscheinung entgegen, dass die Geschwindigkeiten in gleichen Zeitintervallen um gleichviel wachsen, d. h. die Geschwindigkeiten sind proportional der Zeit. Die Abweichungen der gefundenen Werthe von den berechneten sind geringer, als man bei solchen Versuchen, wo die „Willkür" eingreift und eingreifen soll, erwarten möchte.

Wir bezeichnen die von einer bestimmten Epoche ab gezählte Zeit mit t, so dass also z. B. die Zeit t = 4 denjenigen Augenblick repräsentirt, welcher auf jene Epoche nach 4 Zeiteinheiten folgt, während andererseits t = — 4 einen Augenblick darstellt, welcher 4 Zeiteinheiten vor jener Epoche liegt.

Ein Körper sei begriffen in geradliniger Bewegung. Auf seiner geradlinigen Bahn befinde sich an beliebig gewählter Stelle eine feste Marke. Die Entfernung x, welche der in Bewegung begriffene Körper zur Zeit t von dieser Marke hat, mag dargestellt sein durch

$$x = \alpha + t\beta + \frac{t^2}{2}\gamma,$$

wo $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ irgend welche Zahlen vorstellen. Für die aufeinander folgenden Zeiten t = — 4, t = — 3, . . . . t = + 5 wird die Entfernung x alsdann diejenigen

Werthe besitzen, welche in Tab. A. II. angegeben sind.

Tab. A.

| I. | II. | III. | IV. |
|---|---|---|---|
| t. | x. | | |
| — 4 | $\alpha - 4\beta + 16\frac{\gamma}{2}$ | | |
| | | $\beta - 7\frac{\gamma}{2}$ | |
| — 3 | $\alpha - 3\beta + 9\frac{\gamma}{2}$ | | $\gamma$ |
| | | $\beta - 5\frac{\gamma}{2}$ | |
| — 2 | $\alpha - 2\beta + 4\frac{\gamma}{2}$ | | $\gamma$ |
| | | $\beta - 3\frac{\gamma}{2}$ | |
| — 1 | $\alpha - \beta + \frac{\gamma}{2}$ | | $\gamma$ |
| | | $\beta - \frac{\gamma}{2}$ | |
| 0 | $\alpha$ | | $\gamma$ |
| | | $\beta + \frac{\gamma}{2}$ | |
| 1 | $\alpha + \beta + \frac{\gamma}{2}$ | | $\gamma$ |
| | | $\beta + 3\frac{\gamma}{2}$ | |
| 2 | $\alpha + 2\beta + 4\frac{\gamma}{2}$ | | $\gamma$ |
| | | $\beta + 5\frac{\gamma}{2}$ | |
| 3 | $\alpha + 3\beta + 9\frac{\gamma}{2}$ | | $\gamma$ |
| | | $\beta + 7\frac{\gamma}{2}$ | |
| 4 | $\alpha + 4\beta + 16\frac{\gamma}{2}$ | | $\gamma$ |
| | | $\beta + 9\frac{\gamma}{2}$ | |
| 5 | $\alpha + 5\beta + 25\frac{\gamma}{2}$ | | |

Die Differenzen der in II angegebenen Entfernungen sind berechnet in Columne III. Die Zahlen dieser letztern Columne repräsentiren demnach diejenigen Raum-

intervalle, welche der Körper in jedem einzelnen Zeittheil durchläuft. Sie zeigen zugleich, dass diese Intervalle von einem Zeittheil zum andern grösser werden, dass also die Bewegung eine beschleunigte ist.

Bildet man endlich von den in III angegebenen Intervallen nochmals die Differenzen, so erhält man die in Columne IV verzeichneten Zahlen. Diese Zahlen sind durchweg von gleicher Grösse, nämlich durchweg $= \gamma$. Sie zeigen also, dass die den Einzelzeiten entsprechenden Intervalle von einem Zeittheil zum andern immer um gleich viel zunehmen. Mit andern Worten: Sie zeigen, dass die Bewegung eine gleichförmig beschleunigte ist; und überdiess, dass $\gamma$ den Werth der constanten Beschleunigung darstellt.

Es soll nun die beobachtete Bewegung untersucht werden. Für diese sind die Entfernungen x verzeichnet in Tab. B. Columne II.

Tab. B.

| I. | II. | III. | IV. | V. | VI. |
|---|---|---|---|---|---|
| t. | x. | | | $\alpha = 176 \quad \beta = 84{,}5 \quad \gamma = 22{,}08$ | $\xi$. | $\xi - x$. |
| −4 | 0 | | | $176 - 4 \cdot (84{,}5) + 16 \cdot (11{,}04) =$ | 14,64 | 14,64 |
| | | 22,3 | | | | |
| −3 | 22,3 | | 7,4 | $176 - 3 \cdot (-) + 9 \cdot (-) =$ | 21,86 | −0,44 |
| | | 29,7 | | | | |
| −2 | 52 | | 20,3 | $176 - 2 \cdot (-) + 4 \cdot (-) =$ | 51,16 | −0,84 |
| | | 50,0 | | | | |
| −1 | 102 | | 24 | $176 - 1 \cdot (-) + 1 \cdot (-) =$ | 102,54 | 0,54 |
| | | 74 | | | | |
| 0 | 176 | | 21 | $176 \quad =$ | 176 | 0 |
| | | 95 | | | | |
| 1 | 271 | | 23 | $176 + 1 \cdot (-) + 1 \cdot (-) =$ | 271,54 | 0,54 |
| | | 118 | | | | |
| 2 | 389 | | 11 | $176 + 2 \cdot (-) + 4 \cdot (-) =$ | 389,16 | 0,16 |
| | | 129 | | | | |
| 3 | 518 | | 44 | $176 + 3 \cdot (-) + 9 \quad (-) =$ | 528,86 | 10,86 |
| | | 173 | | | | |
| 4 | 691 | | 17 | $176 + 4 \cdot (-) + 16 \quad (-) =$ | 690,64 | −0,36 |
| | | 190 | | | | |
| 5 | 881 | | | $176 + 5 \cdot (84{,}5) + 25 \quad (11{,}04) =$ | 874,50 | −6,50 |

Die Columnen III und IV repräsentiren wieder die erste und zweite Differenzen-Reihe. Es sind also wiederum durch III die den Einzelzeiten entsprechenden Raum-Intervalle, und durch IV die Zunahmen dieser Raum-Intervalle d. i. die Beschleunigungen dargestellt.

Für den mittleren Verlauf der Bewegung haben die Beschleunigungen IV die Werthe: 20,3 24 21 23, also Werthe, die nahezu einander gleich sind. Daraus folgt, dass die beobachtete Bewegung, was ihren mittleren Verlauf anbelangt, nahezu eine gleichförmig beschleunigte ist.

Wir betrachten die geringen Unterschiede der genannten Zahlen 20,3 24 21 23 als Beobachtungsfehler, und ersetzen diese vier Zahlen durch ihr arithmetisches Mittel 22,08. Die beobachtete Bewegung ist dann in ihrem mittleren Verlaufe als eine gleichförmig beschleunigte anzusehen, deren constante Beschleunigung $\gamma = 22{,}08$ ist.

Die beiden andern Constanten $\alpha$ und $\beta$ ergeben sich für diese Bewegung leicht durch Vergleichung der Tabellen B und A. Durch Vergleichung der Columnen II folgt zunächst $\alpha = 176$. Sodann ergibt sich durch Vergleichung der Columnen III:

$$\beta - \frac{\gamma}{2} = 74,$$

und gleichzeitig: $\beta + \frac{\gamma}{2} = 95.$

Hieraus folgt durch Addition:

$$2\beta = 169,$$

mithin $\beta = 84{,}5.$

Wir berechnen nunmehr, mit Zugrundelegung der eben gefundenen Constanten $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, diejenigen Werthe, welche die Entfernungen x besitzen müssten, wenn die beobachtete Bewegung in voller Strenge eine gleichförmig beschleunigte sein sollte. Diese Rechnung ist ausgeführt in Tab. B. Columne V.

Bezeichnen wir endlich die in Columne V berechneten Entfernungen mit $\xi$, die beobachteten Entfernungen hingegen nach wie vor mit x, so ergeben sich für die Differenzen $\xi - x$ die in Tab. B. Columne VI aufgeführten Werthe.

Diese Differenzen VI sind sehr klein für den mittleren Verlauf der Bewegung, beträchtlich aber für den Anfang und das Ende derselben. Sie zeigen also von Neuem, dass die beobachtete Bewegung in ihrem mittleren Verlauf als eine gleichförmig beschleunigte angesehen werden kann.

Vergleiche ich die verschiedenen, von mir ausgeführten constanten, verzögerten oder beschleunigten Bewegungen, so zeigen die letzteren die einfachsten, und — was die Hauptsache ist — die regelmässigsten Verhältnisse in ihrem zeitlichen Ablauf.

Aus der Regelmässigkeit dieses Ablaufes schliesse ich, dass auch der Willenseinfluss bei diesen Bewegungen die einfachste Form annimmt, und in der That, der einfachste Modus, wie der Wille wirken kann, ist der, dass das die Bewegung unterhaltende Agens fortwährend gleich stark wirkt. Ohne also eine Ahnung zu haben über die Geschwindigkeitszuwüchse in den einzelnen Phasen einer solchen Bewegung, vollführen wir dieselben auf die psychisch uns

adäquateste Weise nach einem genauen Gesetz. Die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und den Endmitteln der Beobachtungen ist so gross, dass dieses Gesetz mir unwiderleglich dargethan scheint; ich bin übrigens erst ganz am Ende meiner Studien auf dasselbe gekommen und bedaure nach Abschluss der Versuche, nicht mehr Zeit gehabt zu haben, um durch weitere Beobachtungen demselben eine breitere Grundlage zu geben. Die Vermuthung liegt nahe, dass diejenige Willkür-Bewegung; bei welcher wir uns blos vornehmen, die Hand in linearer Richtung zu bewegen, also z. B. eine Linie mit dem Bleistift längs einem Lineal zu ziehen, denselben zeitlichen Ablauf zeigt. Eine einfache Ueberlegung der beiläufigen Erfahrungen, die wir beim Gebrauch unserer Armmuskeln machen, führt wohl auf den Gedanken, dass das Ziehen einer Geraden von gewisser Länge ausserdem noch an eine bestimmte Durchschnittszeit gebunden ist, d. h. wir legen unserer Bewegung weder einen Zwang an, indem wir sie zu langsam vollführen, noch strengen wir uns unnöthig an, indem wir die Bewegung zu schnell machen. Es wäre wohl von Interesse, diese ungezwungensten aller Willkürbewegungen — deren Ermittelung, wie ich erst beim Abschluss meiner Versuche erkenne, eine Vorfrage zu meinen Specialversuchen bildet — des Näheren zu verfolgen.

Ich habe noch die Ausnahmen von dem oben entwickelten Gesetz zu erwähnen. Im ersten Zeitzehntel gehorcht die als beschleunigt beabsichtigte Bewegung einem anderen Gesetz; wir thun, wenn der Wille den Muskel anfängt zu beeinflussen, in der That zu viel.

Dass gegen Ende der beschleunigten Bewegung der arretirende Willensbefehl die Geschwindigkeit abändert, versteht sich von selbst. Ueber den genaueren Gang dieser Erscheinungen fehlen mir aber die erforderlichen Messungen, wie mir leider auch Messungen fehlen über die Geschwindigkeitszunahme am Anfang der Bewegung von einem kleinsten Zeittheil zum andern. Zur Verfolgung dieser Erscheinungen reichen meine graphisch verzeichneten Bewegungen desshalb nicht aus, weil die Drehungsgeschwindigkeit der Trommel bei diesen Versuchen nicht hinreichend gross war.

## Die willkührlich verzögerte Bewegung.

Bei einer solchen muss zunächst eine gewisse Geschwindigkeit erreicht werden; diess ist bei meinen kürzer dauernden Bewegungen erst im 2. Zeitzehntel der ganzen Bewegung der Fall, während bei den längerandauernden Bewegungen das erste Zeitzehntel dazu natürlich vollkommen ausreicht. Von da ab erfolgt die Verlangsamung; während aber bei beabsichtigt beschleunigten Bewegungen die Beschleunigung fortdauert bis nahe zu Ende der Bewegung (bis in's 9. Zeitzehntel), verhält es sich mit der Verzögerung ganz anders. Obschon ich mir vornahm, die Bewegung gleichmässig zu verzögern bis an ihr Ende, fiel die effectuirte Bewegung ganz anders aus; Anfangs nämlich ist die Verzögerung eine sehr starke, so dass für die nächsten Zeitmomente nicht mehr viel übrig bleibt. Schon vom 4., bei langsamen Bewegungen vom 3. Zeitmoment an, wird die Bewegung nur noch um ein sehr Geringes verzögert,

so dass sie von meinen (willkührlich-) konstanten Bewegungen sich kaum mehr unterscheidet. Es kann selbst die Geschwindigkeit in späteren Zeitmomenten wieder etwas wachsen. Zu einer genaueren Verfolgung des Ganges der Erscheinung — die sich nicht so regelmässig gestaltet, wie die Beschleunigung — wären übrigens viel zahlreichere Versuche, und zwar mit geschwinderer Trommeldrehung erforderlich, um den Abfall der verzeichneten Curven besser bestimmen zu können. Mit Bestimmtheit aber kann ich aussprechen, dass im Gegensatz zu den beschleunigten Willenbewegungen, die willkührlich verzögerten dem Gesetz der gleichförmigen Verminderung der Geschwindigkeit nicht gehorchen.

## Zeitlicher Verlauf der constanten Bewegungen.

Indem wir zur Betrachtung der Geschwindigkeiten in den Einzelzeittheilen dieser Bewegungen übergehen, müssen wir die Extensionen und Flexionen abgesondert vornehmen. Denn es bietet der Verlauf beider Bewegungen auf den ersten Blick erkennbare Verschiedenheiten; auch hat man entschieden bei der Extension das Gefühl grösserer Leichtigkeit und Ungehemmtheit, während sich bei der Flexion, der Bewegung, die gegen unsern Körper gerichtet ist, ein arretirendes Moment geltend macht.

Der zeitliche Verlauf der Extensionen zeigt nirgends vollkommene Gleichmässigkeit, vielmehr bieten die Geschwindigkeiten in den einzelnen Zeitphasen einer solchen Bewegung wesentliche Unterschiede. Wie zu erwarten war, nimmt die Geschwindigkeit der Bewegung

allmählig zu, erreicht früher oder später ein Maximum, um sodann mehr oder minder schnell auf Null zu sinken. Am reinsten treten diese Verhältnisse hervor bei den schnellsten, das heisst in kürzester Zeit vollendeten Bewegungen. Nehmen wir das Mittel aus den 4 ersten Rubriken der Tabelle II, welche die schnellsten Bewegungen bis zur Zeitdauer von 2″ umfassen, und ziehen den jedem Zeitzehntel zukommenden Werth von dem Werth des unmittelbar folgenden Zeitzehntels ab, so erhalten wir folgende Differenzen:

Tabelle a.

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4,4 | 8,1 | 10,7 | 12,6 | 13,7 | 13,1 | 11,7 | 11,2 | 8,4 | 6,3 |

Diese schnellsten Bewegungen nehmen also bis zum 5. Zeitzehntel an Geschwindigkeit zu; hier ist das Maximum derselben, dann nimmt die Geschwindigkeit wieder ab. Die diese Bewegungen darstellende Curve ist Anfangs convex, sodann concav gegen die Abscissenaxe, die Convexität ist jedoch stärker, als die Concavität; mit andern Worten, die Anfangsverzögerung ist stärker als die Endverzögerung. Da vom 3. bis 8. Zeitzehntel die Differenzen der Geschwindigkeiten verhältnissmässig gering sind gegenüber dem Anfang und Ende, so können wir diese Bewegung füglich in 3 Hauptphasen eintheilen: 1) Bedeutende Geschwindigkeitszunahme. 2) Annähernde Geschwindigkeitsconstanz. 3) Geschwindigkeitsabnahme. Es versteht sich, wenn längere Räume mit dieser grossen Geschwindigkeit durchlaufen werden (was der von mir gebrauchte Apparat

nicht zuliess), dass dann jene zweite Hauptphase eine längere Dauer haben würde.

Bei allen Bewegungen ohne Unterschied ihrer Zeitdauer fällt die geringste Geschwindigkeit in das erste Zeitzehntel; diese Anfangsverzögerung nimmt jedoch mit zunehmender Zeitdauer der Bewegung etwas ab, so dass die 4 Durchschnittscurven von geringster Zeitdauer im ersten Zeitzehntel 4,4 %; die von grösster Zeitdauer 7,9 % des überhaupt zurückgelegten Weges im Durchschnitt ergeben. Das Maximum der Geschwindigkeit fällt bei Bewegungen von sehr kurzer Dauer in das 5. Zeitzehntel; bei solchen von längerer Dauer fällt es allmählig in spätere Zeitzehntel, wie diess erläutert wird durch folgende Tabelle, welche die 22 Versuchsreihen der Tabelle II in 5 Rubriken zusammenstellt.

Tabelle b.

| Zeitdauer in Sekunden | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,7—2,0 | | 4 | | | | | |
| 2,0—4,0 | | 1 | 3 | 1 | | | |
| 4,0—6,0 | 1 | 1 | | | 2 | | |
| 6,0—10 | | | | 3 | 2 | 2 | |
| 10—20 | | | | | | 1 | 2 |

Das heisst, bei den 4 Versuchsreihen, die in die Zeiten 0,7"—2,0" fallen, liegt das Maximum der Geschwindigkeit im 5. Zeitzehntel u. s. w.

Der Unterschied zwischen Minimum und Maximum ist am grössten bei grösster Geschwindigkeit, am geringsten bei kleinster Geschwindigkeit; in den 4 Durchschnittscurven von kürzester Dauer verhält sich näm-

lich Minimal- und Maximalgeschwindigkeit wie 100 : 244 bis 400; in den 4 von längster Dauer wie 100 : 159 bis 179. Diess rührt grossentheils daher, dass bei der von mir gebrauchten Theilung der Abscissen bei kurzdauernder Bewegung die Anfangsverzögerung sich mehr geltend macht.

Die Hälfte des Wegs ist zurückgelegt (vide Tabelle II) bei schnellster Bewegung nahezu am Ende der ersten Zeithälfte; bei Bewegungen von der Dauer 1,6"—2" wirklich; von da an noch nicht am Ende der ersten Zeithälfte, die Geschwindigkeit der Bewegung ist also hier in der zweiten Zeithälfte grösser.

Bewegungen von mittlerer Geschwindigkeit (2"—6" Dauer). Hier zeigen meine Zahlenwerthe eine etwas grössere Anfangsgeschwindigkeit, da das erste Zeitzehntel schon eine nicht unbedeutende absolute Dauer hat; vom zweiten Zeitzehntel an bleibt im Allgemeinen die Geschwindigkeit dem Mittel ziemlich nahe; die Endverzögerung verschwindet.

Bewegungen von geringster Geschwindigkeit (6"—20" Dauer) zeigen sich bis ins 6. Zeitzehntel den vorigen ganz ähnlich; vom 7. bis ins 10. Zeitzehntel zeigen sie durchaus eine Beschleunigung (vide Tabelle b).

Unter den Flexionsbewegungen zeigen die schnellsten verhältnissmässig die grösste Aehnlichkeit mit den Extensionsbewegungen, wie diess folgende Tabelle (die ebenso, wie Tabelle a berechnet ist) zeigt.

Tabelle c.

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,9 | 8,7 | 10,6 | 17,5 | 15,2 | 14,2 | 11,2 | 8,8 | 6,0 | 3,9 |

Der wesentlichste Unterschied ist, dass bei diesen Flexionen die Endverzögerung bedeutend grösser ist, als bei den entsprechenden Extensionen.

Bei den Bewegungen mit einer Dauer von 2"—20" ist die Minimalgeschwindigkeit nur ausnahmsweise im ersten Zeitzehntel, meist im letzten; die Maximalgeschwindigkeiten vertheilen sich folgendermaassen:

Tabelle d.

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,3—2,0 | | | | | | 3 | | |
| 2—4 | | 1 | 3 | | | | | 1 |
| 4—6 | | 2 | 1 | | | | 1 | |
| 6—10 | | | 2 | 1 | 2 | 2 | | |
| 10—20 | 1 | 1 | | | | 1 | | |

Der Unterschied zwischen Minimal- und Maximalgeschwindigkeit ist bei den Flexionen geringer, als bei den Extensionen; das Verhältniss ist bei den 5 Durchschnittscurven von kürzester Dauer 100 : 254 bis 374, bei den 4 von längster Dauer 100 : 169 bis 121.

Die Hälfte des Wegs ist mit nur wenigen Ausnahmen am Ende der ersten Zeithälfte zurückgelegt.

Die Bewegungen von mittlerer und kleinster Geschwindigkeit zeigen eine deutliche Endverzögerung; die Anfangsverzögerung kann in meiner Tabelle nicht mehr zum Vorschein kommen; die grösste Geschwindigkeit fällt in die ersten Zeitzehntel; der sonstige Verlauf ist dem der entsprechenden Extensionen ähnlich.

## Einfluss einer Fehlerconstanten in der Auffassung der Zeitgrössen bei der Ausführung der Willensbewegungen.

Suchen wir eine grössere Anzahl von gleich grossen, gleich lang dauernden constanten Bewegungen auszuführen, so machen wir dieselben weder genau von gleicher Grösse, noch von gleicher Dauer. Der Fehler, welcher hiebei gemacht wird, ist noch nicht ermittelt; namentlich nicht, ob derselbe grösser ist in der räumlichen, oder, was wahrscheinlicher, in der zeitlichen Auffassung. Suchen wir, wie in meinen verschiedenen Versuchsreihen, gleiche Räume mit verschiedener Geschwindigkeit zu durchmessen, so ist noch weniger eine Gleichheit der am Ende durchmessenen Räume zu erwarten. Es verhalten sich also die Geschwindigkeiten nicht gerade umgekehrt wie die zu den Bewegungen verwandten Zeiten; ein constanter Fehler macht sich geltend, und zwar legen wir im Allgemeinen in kürzeren Zeiten geringere Räume zurück, als voraus beabsichtigt wurde (vide Tabelle II und III). Ich suchte bei meinen Versuchen bald nach Abhilfe, indem ich für das Auge zwei Grenzen markirte — ohne mechanische Arretirung natürlich — innerhalb welcher ich die Bewegungen auszuführen suchte. Diese dem Auge vorgezeichneten Grenzen konnten übrigens nur ungefähre Anhaltspunkte bieten, so dass sich die in Rede stehende Erscheinung auch nachher, wenn auch weniger stark, geltend machte.

Ich kam nur indirekt, unter Nebenbedingungen,

die sogar störend einwirkten, mit dieser Frage in Berührung; ihre Verfolgung würde eine besondere Versuchsreihe erfordern. Jedoch bin ich im Stande, folgende Erklärung derselben zu geben:

Bei einer constanten Geschwindigkeit g findet bekanntlich eine einfache Beziehung zwischen den durchlaufenen Räumen r und der zur Bewegung gebrauchten Zeit z statt; $g = \frac{r}{z}$. Wir beurtheilen die Geschwindigkeiten der Körper der Aussenwelt mittelst dieser Grundlage, wir messen den durchlaufenen Raum durch die Zeit. Vermöge langer Gewöhnung aber verlieren unsere Geschwindigkeitsauffassungen immer mehr den Charakter der überlegenden Wahrnehmung, der Rechnung; sie werden so zu sagen in Empfindungen umgesetzt. Gilt diess auch von der Auffassung der Geschwindigkeit unserer Willkürbewegungen, wobei das Object der Beobachtung in uns selbst liegt, so könnte man sagen: mit den verschiedenen Geschwindigkeitsgraden sind bestimmte Gemeingefühle verbunden. Die Formel $g = \frac{r}{z}$ hat auch hier Geltung, g würde einem bestimmten Gemeingefühl entsprechen.

Nach den mündlichen Mittheilungen Herrn Professor v. Vierordt's stellte sich bei zahlreichen Versuchen, welche derselbe seit einigen Jahren über den Zeitsinn verschiedener Sinne angestellt hat, ausnahmslos Folgendes heraus:

1) Kleinere Zeiten werden grösser percipirt, als sie wirklich sind.

2) Grössere Zeiten werden kleiner aufgefasst, als sie sind.

3) Dazwischen liegt ein Indifferenzzustand, in welchem kein Irrthum stattfindet.

Daraus folgt: Wird derselbe Raum von demselben Object in verschiedenen Versuchen mit verschiedener Geschwindigkeit zurückgelegt, so ist bei schnellen Bewegungen die „empfundene“ Geschwindigkeit geringer, als sie wirklich ist, bei langsamen Bewegungen verhält es sich umgekehrt. In der That, machen wir eine gesehene grosse Geschwindigkeit nach, z. B. eine von einem Schreibapparat auf das Kymographion vorgezeichnete Bewegung, so machen wir die Bewegung zu langsam, eine langsame Bewegung aber machen wir zu schnell nach. Der Indifferenzzustand liegt ungefähr bei $1^1/_2$ Sekunden, wo die nachgemachte Bewegung gleich der gesehenen war — wobei übrigens bemerkt werden muss, dass die durchlaufenen Räume gering waren.

Will man also eine nach Zeit und Raum vorgezeichnete Bewegung ausführen, so hat man bei schnellen Bewegungen den Raum noch nicht ganz durchlaufen, wenn die Bewegungszeit verflossen ist, wogegen man bei langsamen Bewegungen die Raumgrenze vorzeitig erreicht. Desshalb durchmass ich bei meinen schnelleren Bewegungen im Allgemeinen kleinere Räume, als bei meinen langsameren; obschon ich bestrebt war, die Bewegungsräume gleich zu machen und mir die Ungleichheiten niemals bewusst wurden.

## Theoretische Folgerungen.

Ich erlaube mir, an die äussere Darstellung des zeitlichen Verlaufes einige theoretische Betrachtungen anzuknüpfen.

Aus den Versuchen ergibt sich vor Allem: Der Willensreiz bringt durch den motorischen Nerven im Muskel die einer vorgestellten constanten Geschwindigkeit ungefähr entsprechende Bewegung nur allmählig hervor. Er unterscheidet sich dadurch nicht von andern Nervenreizen; z. B. von der Wirkung eines Oeffnungsinduktionsschlags, wo auch in der Anfangszeit die Muskelverkürzungen von einem Zeittheil zum andern mit zunehmender Energie geschehen. In meinen Versuchen zeigt sich übrigens auch bei mässig grossen Geschwindigkeiten dieses beschleunigte Wachsthum der Bewegung in den Anfangsperioden noch sehr deutlich, es erstreckt sich also über eine verhältnissmässig lange Zeit und wir können dieses Anwachsen der Energie nicht, wie bei der Wirkung des Inductionsschlages, von der Natur des Muskels ableiten, sondern müssen zum Schlusse kommen, dass der Willensreiz auch bei langsameren, constant beabsichtigten Bewegungen nur langsam die gewollte Geschwindigkeit hervorbringt.

Vergleichen wir in Tabelle II die Wege, die bei den schnellsten Bewegungen (etwa in den 4 ersten Rubriken von 0,7″—2,0″ Dauer) im ersten Zeitzehntel zurückgelegt wurden, so erhalten wir zwar Unterschiede, nun und nimmermehr aber lässt sich ersehen, ob in

auf- oder absteigender Richtung die Werthe wachsen. Aehnliches ergibt die Betrachtung des ersten Zeitzehntels der schnellsten Flexionsbewegungen (Tabelle III). Da die absoluten Zeitdauern der in Rede stehenden, schnellsten Bewegungen erheblich variiren (die Extensionen ums 3fache, die Flexionen ums 7fache), so glaube ich den Satz aufstellen zu können: Die dem Muskel ertheilten Anfangsgeschwindigkeiten verhalten sich proportional den wirklich erreichten, respective auch den beabsichtigten, mittleren Geschwindigkeiten. Aehnliches gilt, wiederum bei schnellen Bewegungen, von der Geschwindigkeit, mit welcher der arretirende Willenseinfluss der Bewegung Einhalt thut.

Betrachten wir die Bewegungen, welche in successiv auf einander folgenden kleinsten Zeiten geschehen, wozu uns Tabelle I Material liefert, so findet ein beschleunigtes Ansteigen und jenseits der maximalen Geschwindigkeit eine zunehmende Hemmung der Bewegung von einem kleinsten Zeittheil zum andern nicht statt. Die Bewegung kann momentan sistirt sein, sie kann 2mal, 3mal schneller oder langsamer erfolgen, als in den vorhergegangenen Zeittheilchen. Am Anfang und am Ende der Bewegung kommen stärkere verhältnissmässige Schwankungen vor, als in der Mitte derselben; übrigens zeigt die Bewegung schon im ersten sehr kleinen Zeitmoment eine Geschwindigkeit, welche hinter der der nächstfolgenden Zeitmomente nicht zurücksteht, ja dieselbe sogar übertreffen kann. Die willkührliche Muskelcontraction bei der constanten Bewegung erfolgt nach dem Gesagten mit ziemlicher Unregelmässigkeit; die

betreffenden Werthe liegen weit ausserhalb der Versuchsfehler.

Die Geschwindigkeit im ersten Zeitzehntel ist bei den Extensionen geringer, als im letzten Zeitzehntel (nur die schnellste Extension von 0,7" Dauer macht eine Ausnahme), ihre Arretirung erfolgt also leichter, als ihr Anfang. Bei den Flexionen verhält es sich, von einigen Ausnahmen abgesehen, umgekehrt. Vielleicht dürfte diess davon herrühren, dass die Bewegung in einer von uns abgewandten Richtung für unsere Vorstellung mit einer grösseren Freiheit verbunden ist; mir wenigstens will es vorkommen, als ob sich unwillkührlich bei den Bewegungen, die ihre Richtung gegen uns haben, ein hemmender Einfluss der Vorstellung allmählig geltend machte.

Wenn wir den Arm mittelst einer gleichmässigen Bewegung durch einen bestimmten Raum bewegen wollen, so sind wir von der wirklichen Gleichmässigkeit vollkommen überzeugt, trotzdem dass sich die Bewegung anders verhält; auch ist ein Dritter, der die Bewegung mit dem Auge verfolgt, nicht im Stande, mit Sicherheit Abweichungen von der Constanz wahrzunehmen. Die Zahlen, welche aus den Tabellen II und III für die in den Einzelphasen einer Bewegung zurückgelegten Räume sich berechnen lassen, sind demnach auch Ausdrücke für Geschwindigkeitsunterschiede, welche für uns nicht mehr merklich sind; jedoch unter meinen speciellen, für unser Unterscheidungsvermögen ungünstigen Versuchsbedingungen.

Die leichteste Aufgabe, die an unser Unterscheidungsvermögen für Geschwindigkeiten gestellt werden

kann, ist: constante Bewegungen zu vergleichen, die durch gleiche Räume in ungleichen Zeiten geschehen. Wir haben hier eigentlich nur die Zeiten zu vergleichen und zwar jeweils die Gesammtzeit einer Beobachtung. Viel schwieriger dagegen ist es, wenn es sich, wie in meinen Versuchen, darum handelt, Geschwindigkeiten in Einzelphasen einer Bewegung zu vergleichen, denn die Einzelphasen sind weder räumlich noch zeitlich für unsere Sinne und unser Gemeingefühl gegen einander abgegrenzt. Bei meinen schnellen, wie langsamen constanten Bewegungen zeigen die Geschwindigkeiten in der Mitte der Versuchszeit Differenzen, welche (da sie durchschnittlich nur wenige Procente betragen) von den geübtesten Sinnen unter ähnlichen Versuchsbedingungen nicht mehr unterschieden werden könnten; unsere Willensbewegung leistet also mehr. *)

Es scheint mir zur Erklärung dieser Thatsache vorzugsweise die Annahme berücksichtigungswerth, dass bestimmte Geschwindigkeiten, die wir unsern Gliedmassen ertheilen, mit bestimmten Gemeingefühlen verbunden sind. Bei einer als constant beabsichtigten Bewegung würden wir demnach in den einzelnen Be-

*) In Beantwortung der Frage über Wahrnehmung von Geschwindigkeiten — einer wahren Vorfrage für mein Thema — ist fast nichts geleistet. Es sind nur Angaben vorhanden über die minimale Winkelgeschwindigkeit, die noch percipirt wird (Valentin, Lehrbuch der Physiologie 2. Aufl. II. 471 und Fechner, Psychophysik I, 296). Ueber das Unterscheidungsvermögen des Auges und der Cutis für Geschwindigkeiten ist nichts bekannt; Herr Prof. v. Vierordt theilte mir mit, dass nach seinen, vorerst blos vorläufigen Beobachtungen dieses Vermögen im Verhältniss zur Unterscheidungsempfindlichkeit für zahlreiche andere extensive, geschweige denn intensive Sinnesreize ziemlich zurückstehe.

wegungsphasen mit der Geschwindigkeit nur innerhalb derjenigen Grenzen variiren, welche unser Gemeingefühl nicht mehr zu unterscheiden im Stande wäre. Die Leistungen des Gemeingefühls wären demnach exacter — wenigstens unter den genannten Versuchsbedingungen — als die Unterscheidungs-Empfindlichkeiten unseres Zeit- und vielleicht auch Raumsinns in andern Sinnesgebieten.

Von hohem Interesse wäre die Untersuchung des zeitlichen Verlaufs von constant beabsichtigten Willensbewegungen bei solchen Kranken, deren Muskelsinn Beeinträchtigungen erlitten hat. Die Leistungen derselben müssten — falls die von mir aufgestellte Vermuthung richtig ist — hinter den entsprechenden Leistungen normaler Menschen wesentlich zurückstehen.

Schliesslich wollen wir noch einen Blick werfen auf die Beziehungen zwischen der konstanten und der beschleunigten Willensbewegung. Vollführen wir eine lineare Bewegung mit der Hand, so ist die ungezwungenste Form derselben eine zunehmende Beschleunigung der Geschwindigkeit; ich vermuthe, dass die Beschleunigung als eine gleichmässige sich bei genauerer Prüfung herausstellen wird. Die gleichmässige Willensbewegung dagegen, mit in allen Phasen möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit, ist ein erzwungener Zustand; es ist als ob wir bei der Vollführung derselben uns einen Zwang anlegen müssten, um die Geschwindigkeit zu beschränken.

Der motorische Nerv verlangt bekanntlich, wenn der von ihm abhängige Muskel in anhaltender Zusammenziehung verharren soll, keinen konstanten Reiz

von gleichbleibender Stärke, ebensowenig einen Reiz, dessen Stärke langsam anschwillt, sondern intermittirende Reize. Soll der Muskel von der Erschlaffung aus langsam in immer stärkere Verkürzung kommen, so muss der Reiz ebenfalls ein discontinuirlicher sein; die dem Experimentator zugänglichen Nervenreize können aber eine solche langsam ansteigende Verkürzung bekanntlich nicht oder nur ganz unvollkommen auslösen, weil er die Reize nicht so genau in der Gewalt hat. Das Verlangte leistet aber in möglichst vollständiger Weise unser Willensreiz. Die Thatsachen berechtigen uns zunächst freilich nur zu dem Schluss, dass der Wille im motorischen Nerven discontinuirliche Erregungen auslöst; gleichwohl ist es sehr wahrscheinlich, dass auch die psychische Bewegung, welche eine von uns auszuführende gewollte Muskelbewegung auslöst, sich nicht auf konstanter Höhe hält, sondern rhythmisch, stossweis auftritt. Nehmen wir an, dass jedem elementaren Willensstoss (von nicht näher bekannter Dauer) eine minimale Verkürzung des Muskels entspricht, die ihrerseits eine sehr kleine Zeit in Anspruch nimmt, so muss die Bewegung sehr verschieden ausfallen, je nach der Succession der Stösse. Kommen die Willensstösse jeweils zur Wirkung, wenn die Muskelfaser noch in Bewegung begriffen ist, in Folge der Wirkung je des vorangegangenen Stosses, so wird die vorhandene Bewegung eine Beschleunigung erfahren müssen; folgen sich aber die Willensstösse langsamer, so dass der nächste Stoss den Muskel jeweils trifft zu einer Zeit, wo der Muskel sich nicht mehr merklich verkürzt, so wird die Bewegung eine gleichmässige, d. h. sie besteht

aus successiven minimalen Bewegungen, deren Rhythmen für uns natürlich verschwinden, so dass die Bewegung uns eine gleichmässige zu sein scheint. Im letzteren Falle wäre die Trägheit der Muskelfaser zu überwinden und darin liegt wohl die Hauptursache, warum uns die gleichmässige Willensbewegung schwerer wird als die beschleunigte. Von diesem Standpunkt aus würde die gleichmässig beschleunigte Willensbewegung unter allen Bewegungsformen die günstigsten Bedingungen bieten. Die Richtigkeit dieser Vermuthung könnte zunächst dadurch geprüft werden, dass man feststellen würde, ob, unter sonst möglichst gleichen Bedingungen, die konstante Willensbewegung den Muskel mehr ermüdet als die gleichmässig beschleunigte.